

БД.3
В.14

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПОВІТРЯНИХ СИЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА

К. В. САДОВИЙ

ЦИФРОВІ ПРИСТРОЇ



Харків
2018

620.3
С14

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПОВІТРЯНИХ СИЛ
імені ІВАНА КОЖЕДУБА

К. В. Садовий

ЦИФРОВІ ПРИСТРОЇ

Підручник



Харків
2018

УДК 681.325.5–181.48(07) Затверджено до видання вченою радою
С14 Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
як підручник (протокол № 6 від 22.05.2018)

Рецензенти: І. І. Ключник, канд. техн. наук, проф., академік Міжнародної
академії наук прикладної радіоелектроніки.
Г. В. Худов, докт. техн. наук, проф., заслужений діяч науки і
техніки України

Садовий К. В.

С14 Цифрові пристрої : підручник / К. В. Садовий. – Х. : ХНУПС, 2018.
– 388 с.

У підручнику викладаються основи теорії цифрових пристроїв, принципи дії, методи аналізу та синтезу цифрових схем, оцінка основних характеристик і параметрів. Велика увага приділена типовим схемотехнічним рішенням цифрових пристроїв, які широко застосовуються в сучасному й перспективному озброєнні та військовій техніці Збройних Сил України.

Підручник призначений для курсантів і студентів ХНУПС ім. І. Кожедуба. Він може бути корисним також викладачам, ад'юнктам та інженерно-технічному складу для поповнення своїх знань з сучасної електроніки.

УДК 681.325.5–181.48(07)

© Садовий К. В., 2018
© Харківський національний університет
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2018

ПЕРЕДМОВА

Пропонований підручник розроблявся відповідно до програм навчальних дисциплін „Аналогові та цифрові електронні пристрої”, а також „Імпульсні та цифрові пристрої”. Він призначений для курсантів факультетів „Радіотехнічних військ Протиповітряної Оборони”, „Зенітних ракетних військ”, „Автоматизованих систем управління та наземного забезпечення польотів авіації”, а також факультету „Протиповітряної Оборони Сухопутних Військ”. Цей підручник готує курсантів до вивчення дисциплін базової та професійно-спеціальної підготовки та виконання кваліфікаційних робіт за освітньо-кваліфікаційним рівнем бакалавра за спеціальністю „Телекомунікації та радіотехніка”, „Озброєння та військова техніка”, а також „Військове управління”.

У підручнику викладаються основи теорії цифрових пристроїв, принцип дії, методи аналізу та синтезу цифрових схем, оцінка основних характеристик і параметрів; велика увага приділена типовим схемотехнічним рішенням цифрових пристроїв, які широко застосовуються в сучасному і перспективному озброєнні та військовій техніці Збройних Сил України.

Підручник містить чотири розділи. У розділі „Цифрові інтегральні схеми та пристрої” розглянуті основи теорії цифрових пристроїв і їх схемотехніки, а також всієї графічної символіки та умовних позначень, які дозволяють аналізувати функціонування цифрових інтегральних схем без їх електричних схем.

Розділ „Формувачі та генератори відеоімпульсів” присвячений принципам побудови та прикладам реалізації неспеціалізованих формувачів і генераторів прямокутних імпульсів.

У розділі „Аналого-цифрові та цифроаналогові перетворювачі” розглядаються питання конструювання та функціонування аналого-цифрових та цифроаналогових перетворювачів, їх практичної реалізації та застосування в радіоелектронних засобах.

У розділі „Мікропроцесори та мікропроцесорні системи” розглядається будова та функціонування інтегральних мікросхем, що управляються програмно (мікропроцесорів), а також сукупності мікропроцесорів і допоміжних мікросхем (мікропроцесорних систем).

В основу цього видання покладені лекції, які автором читаються протягом багатьох років, та сучасні публікації з питань цифрової схемотехніки та мікропроцесорної техніки.

Автор вдячний викладачам кафедри озброєння радіотехнічних військ ХНУПС ім. І.Кожедуба за допомогу в роботі, а також за ряд цінних зауважень, зроблених під час написання рукопису.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	3
СПИСОК СКОРОРЧЕНЬ.....	4
РОЗДІЛ I. ЦИФРОВІ ІНТЕГРАЛЬНІ СХЕМИ ТА ПРИСТРОЇ.....	7
1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ.....	7
1.1. Кодування чисел і системи числення цифрових пристроїв.....	7
1.2. Виконання операцій над двійковими числами.....	11
1.3. Основні аксіоми і закони булевої алгебри.....	14
1.4. Мінімізація логічних функцій.....	19
1.5. Логічні елементи. Взаємна відповідність булевих функцій та логічних елементів.....	30
2. БАЗОВІ ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ЦИФРОВИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ.....	35
2.1. Принципи схемотехніки цифрових інтегральних схем.....	35
2.2. Ключі базових логічних елементів.....	36
2.2.1. Ключ зі спільним емітером.....	36
2.2.2. Ключі на МОН-транзисторах.....	44
2.2.3. Перемакач струму.....	47
2.3. Класифікація й основні параметри базових логічних елементів.....	49
2.4. Елементи транзисторно-транзисторної логіки.....	53
2.5. Елементи емітерно-зв'язаної логіки.....	62
2.6. Елементи на МОН-транзисторах.....	65
2.6.1. Елементи на однотипних МОН-транзисторах.....	65
2.6.2. Елементи на комплементарних МОН-транзисторах.....	66
2.7. Елементи інтегральної інжекційної логіки.....	71
2.8. Порівняльна оцінка базових логічних елементів.....	75
3. ЦИФРОВІ ПРИСТРОЇ КОМБІНАЦІЙНОГО ТИПУ.....	80
3.1. Загальні відомості про комбінаційні пристрої.....	80
3.2. Синтез комбінаційних пристроїв.....	81
3.3. Суматори.....	86
3.4. Компаратори.....	92
3.5. Дешифратори.....	97
3.6. Шифратори.....	104
3.7. Мультиплексори.....	107
3.8. Демультіплексори.....	115
3.9. Арифметико-логічні пристрої.....	122

4. ЦИФРОВІ ІНТЕГРАЛЬНІ СХЕМИ ТА ПРИСТРОЇ НАГРОМАДЖУВАЛЬНОГО ТИПУ.....	126
4.1. Загальні відомості про нагромаджувальні інтегральні схеми та пристрої.....	126
4.2. Тригери на логічних елементах.....	128
4.2.1. <i>RS</i> -тригери.....	129
4.2.2. <i>T</i> -тригери.....	134
4.2.3. <i>D</i> -тригери.....	135
4.2.4. <i>JK</i> -тригери.....	139
4.2.5. Несиметричні тригери.....	143
4.3. Лічильники та подільники.....	145
4.3.1. Лічильники з послідовним перенесенням.....	146
4.3.2. Лічильники з наскрізним перенесенням.....	149
4.3.3. Лічильники з паралельним перенесенням.....	151
4.3.4. Лічильники та подільники з коефіцієнтом перерахування, відмітним від 2 ⁿ	154
4.4. Регістри.....	157
4.4.1. Регістри пам'яті.....	158
4.4.2. Регістри зсуву.....	159
5. НАПІВПРОВІДНИКОВІ ЗАПАМ'ЯТОВУВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ.....	165
5.1. Постійні запам'ятовувальні пристрої.....	166
5.2. Статичні оперативні запам'ятовувальні пристрої.....	170
5.3. Динамічні оперативні запам'ятовувальні пристрої.....	173
5.4. Прилади із зарядовим зв'язком.....	178
5.5. Суматори нагромаджувального типу.....	182
6. ПРОГРАМОВАНІ ЛОГІЧНІ ІНТЕГРАЛЬНІ СХЕМИ (ПЛІС).....	186
6.1. Загальні відомості.....	186
6.2. Програмовані логічні інтегральні схеми типу <i>CPLD</i>	187
6.3. Програмовані логічні інтегральні схеми типу <i>FPGA</i>	192
6.4. Програмовані логічні інтегральні схеми типу <i>SOC</i>	196
6.5. Проектування цифрових пристроїв на ПЛІС.....	201
6.5.1. Система проектування <i>MAX+PLUSII</i>	201
6.5.2. Мови опису апаратури.....	203
РОЗДІЛ II. ФОРМУВАЧІ ТА ГЕНЕРАТОРИ ВІДЕОІМПУЛЬСІВ.....	208
7. ОСНОВИ СХЕМОТЕХНІКИ ФОРМУВАЧІВ І ГЕНЕРАТОРІВ ПРЯМОКУТНИХ ІМПУЛЬСІВ.....	208
7.1. Загальні відомості.....	208
7.2. Нерегенеративні формувачі та генератори.....	212
7.3. Регенеративні формувачі та генератори.....	217

7.3.1. Оновібратори на логічних елементах.....	220
7.3.2. Регенеративні генератори на логічних елементах.....	225
7.3.3. Формувачі та генератори на операційних підсилювачах і компараторах.....	231
8. ГЕНЕРАТОРИ ЛІНІЙНО ЗМІНЮВАНОЇ НАПРУГИ (ГЛЗН).....	238
8.1. Загальна характеристика і принципи побудови ГЛЗН.....	238
8.2. Схемна реалізація ГЛЗН.....	240
8.2.1. Автоколивальні генератори на транзисторах.....	240
8.2.2. Схема ГЛЗН зі струмостабілізувальним елементом.....	243
8.2.3. Генератори в режимі очікування на транзисторах.....	245
8.2.4. Генератори в режимі очікування на операційних підсилювачах.....	251
РОЗДІЛ III. АНАЛОГО-ЦИФРОВІ ТА ЦИФРОАНАЛОГОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ.....	255
9. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ЕЛЕМЕНТИ ТА ВУЗЛИ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ.....	255
9.1. Загальні відомості про перетворювачі.....	255
9.2. Ключі та перемикачі струму.....	259
9.3. Пристрої вибірки та зберігання.....	267
10. ЦИФРОАНАЛОГОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ.....	271
10.1. Основні параметри та класифікація.....	271
10.2. Перетворювач код – напруга на матриці резисторів з ваговими опорами.....	274
10.3. Перетворювач код – напруга на матриці резисторів $R-2R$	277
10.4. Особливості застосування ЦАП.....	280
10.5. Перетворювачі коду на часовий інтервал.....	282
10.5.1. Перетворювач код – час на основі двійкового лічильника.....	283
10.5.2. Перетворювач код – час на основі лічильника та цифрового компаратора.....	284
11. АНАЛОГО-ЦИФРОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ.....	286
11.1. Основні параметри та класифікація.....	286
11.2. Перетворювачі напруги на код послідовного рахунку.....	290

11.3. Перетворювач напруги на код порозрядного кодування.....	293
11.4. Паралельні перетворювачі напруги на код.....	299
11.5. Перетворювачі часових інтервалів на код.....	304
11.5.1 Одноканальний ПЧК послідовного рахунку.....	304
11.5.2 Багатоканальний ПЧК послідовного рахунку.....	306
11.5.3. Перетворювачі частоти на код.....	308
11.5.4. Перетворювачі фази на код.....	311
РОЗДІЛ IV. МІКРОПРОЦЕСОРИ ТА МІКРОПРОЦЕСОРНІ СИСТЕМИ.....	314
12. МІКРОПРОЦЕСОРИ.....	315
12.1. Принципи роботи ЕОМ.....	315
12.1.1. Структура ЕОМ.....	315
12.1.2. Команди.....	316
12.2. Загальні питання побудови процесора.....	318
12.2.1. Аналогові та цифрові методи оброблення інформації.....	318
12.2.2. Структура процесора.....	322
12.2.3. Два принципи побудови процесорів.....	325
12.2.4. Цифрові автомати.....	326
12.3. Синтез процесора з використанням принципу схемної логіки.....	330
12.3.1. Синтез операційного пристрою.....	331
12.3.2. Синтез пристрою керування у формі автомата Мілі.....	332
12.3.3. Синтез пристрою керування у формі автомата Мура.....	340
12.4. Синтез процесора з використанням принципу програмованої логіки.....	343
12.4.1. Принцип мікропрограмного керування.....	343
12.4.2. Приклад побудови мікропрограми.....	346
12.4.3. Порівняння швидкодії пристроїв керування.....	352
13. МІКРОПРОЦЕСОРНІ СИСТЕМИ.....	356
13.1. Структура мікропроцесорної системи.....	356
13.2. Будова мікропроцесорів з використанням мікропроцесорних комплектів.....	358
13.3. Мікропроцесорна система на основі мікропроцесорного комплекту серії KP580.....	361
13.3.1. Склад мікропроцесорного комплекту.....	361
13.3.2. Мікропроцесор KP580BM80A.....	363
ПІСЛЯМОВА.....	381
ЛІТЕРАТУРА.....	382

